



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA DE UN POLIDEPORTIVO

*STRUCTURAL ANALYSIS
OF A SPORTS CENTER'S ROOF*

Autor:

Valero Sebastián Ortigas

Director:

José David Bel Cacho

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias en primer lugar a José David Bel Cacho por su tiempo, amabilidad y sus conocimientos para ayudarme a realizar este proyecto, así como también a Icíar Alfaro.

También agradecer a Mercedes Trébol Bartos y a José Luis Anadón, alcaldesa y arquitecto municipal del municipio de Torres de Berrellén respectivamente, por su amabilidad y disposición de atenderme y facilitarme los planos del Polideportivo.

Finalmente, agradecer a mis compañeros, a mis amigos y todos los profesores que me han acompañado en este proceso, así como a mis padres y mi familia que han sido mi gran apoyo siempre.

RESUMEN

El principal objetivo de este Trabajo Fin de Grado consiste en llevar a cabo un completo análisis estructural tanto estático como dinámico de la cubierta del polideportivo municipal de la localidad de Torres de Berrellén.

Se obtendrán los planos del edificio para posteriormente realizar un modelo de cálculo 3D, en el software de análisis estructural mediante elementos finitos RFEM de Dlubal. Se considerarán todas las cargas establecidas por la normativa en vigor, es decir, se realizará de acuerdo con el Documento Básico de Seguridad Estructural (DBSE-AE) del Código Técnico de la edificación (CTE) y con el Eurocódigo 1 (UNE-EN-1991-1-4).

Por último, se analizarán los resultados obtenidos y se redactarán las conclusiones principales.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	5
1.1 PROPOSITO Y ALCANCE	5
1.2 PROBLEMAS ABORDADOS	6
2 DISEÑO	7
2.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO.....	7
2.2 NORMATIVA EMPLEADA	15
2.3 CARGAS CONSIDERADAS	16
3 ANÁLISIS ESTÁTICO	21
3.1 ANÁLISIS DE DESPLAZAMIENTOS.....	21
3.2 ANÁLISIS DE TENSIONES.....	24
ANEXO A.....	.1 a 10
ANEXO B.....	.1 a 158

1 INTRODUCCIÓN

1.1 PROPOSITO Y ALCANCE

Este proyecto es fundamentalmente un trabajo académico específico que pretende demostrar los conocimientos adquiridos a lo largo de todo el grado. Por lo tanto, no incluye planos, presupuesto, pliego de condiciones, etc.

En el presente trabajo, construiremos un modelo de la estructura de soporte de la cubierta de un polideportivo y de los elementos que la sostienen para su posterior análisis.

También, incluiremos la explicación del cálculo de todas las cargas que afectan a la estructura comprobando que se cumplen los límites aceptables de la normativa vigente.

Por último, incorporaremos los resultados obtenidos del análisis de la cubierta y las conclusiones clave.

A través de este informe, en el proyecto profundizaremos en cómo se utilizó un software especializado, como el programa de elementos finitos de RFEM, para modelar y calcular la estructura de la cubierta del polideportivo municipal de Torres de Berrellén.

Dicho polideportivo, nombrado anteriormente, se encuentra situado en el municipio Torres de Berrellén perteneciente a la Comarca Ribera Alta del Ebro, a unos 20 km de Zaragoza. Se trata de un edificio con una estructura metálica mayoritariamente y cubierta cilíndrica ligera con una geometría más compleja debido a que los pilares que la sustentan no forman una línea recta, sino que forman de una especie arco o curva, como se muestra a continuación.

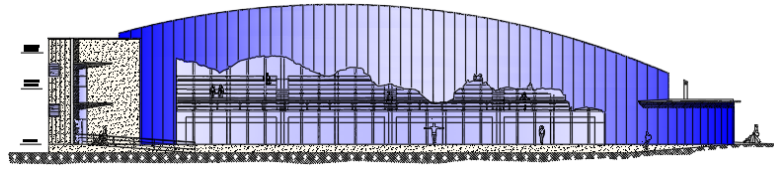


Figura 1. Vista perfil del exterior del Polideportivo.

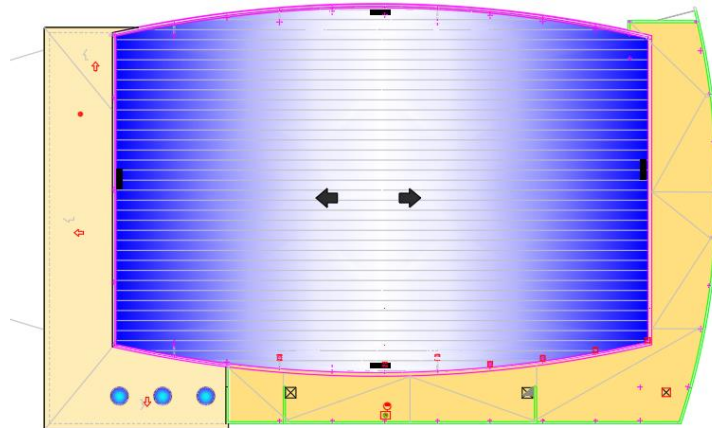


Figura 2. Vista en planta del exterior del Polideportivo.

1.2 PROBLEMAS ABORDADOS

Nos enfocaremos en el modelado de la estructura que soporta la cubierta del polideportivo, a partir de los planos del edificio facilitados por el ayuntamiento del municipio, aplicando las cargas establecidas por la normativa y en el posterior análisis.

Las cargas a las que someteremos dicha estructura serán el peso propio de los elementos de los que está formada la estructura, sobrecargas de uso, viento y nieve. En nuestro caso, la sobrecarga de uso no haría falta tenerla en cuenta debido a que es de menor valor que la carga de nieve y no es concomitante con ella.

Posteriormente, realizaremos el cálculo de las propias cargas y combinaciones de cargas y un análisis estático para obtener las tensiones y los desplazamientos máximos que se producen en la estructura.

2 DISEÑO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El polideportivo tiene una estructura metálica con cubierta cilíndrica que la componen barras del mismo material, pero de diferentes tipos de secciones y uniones, es decir, todas barras son de Acero S275 JR.

En primer lugar, comentaremos los tipos de barras o secciones que conforman la estructura y los componentes de esta a los que corresponden dichas barras.

Todos los pilares principales de los pórticos son de sección HEB 400, con excepción del último pórtico que es un caso especial que explicaremos por separado.

Las cerchas que sostienen la cubierta son de tipo Warren (sin montantes). La totalidad de los cordones superiores de dichas cerchas de los pórticos corresponden a una sección HEB 240. Por otro lado, los cordones inferiores están contruidos con perfiles HEB 220, excepto el del primer pórtico que es de sección HEA 300. Estos cordones, tanto inferiores como superiores de las cerchas, están unidos a los pilares mediante una unión articulada en el eje vertical, lo que consigue no transmitir momentos torsores perjudiciales para los pilares.

Asimismo, las diagonales pertenecientes a las cerchas se componen de barras con secciones QRO 100x5 (conformadas en caliente), es decir, barras de sección cuadrada. En este caso también tenemos la excepción de la cercha del primer pórtico que le corresponden barras QRO 140x5 (conformadas en caliente).

- 1: HEB 400; Acero S 275 JR
- 2: QRO 140x5 (conformadas en caliente); Acero S 275 JR
- 4: HEB 240; Acero S 275 JR
- 5: HEB 220; Acero S 275 JR
- 6: QRO 100x5 (conformadas en caliente); Acero S 275 JR
- 7: HEA 300; Acero S 275 JR

Leyenda tipo de sección de la Figura 3.

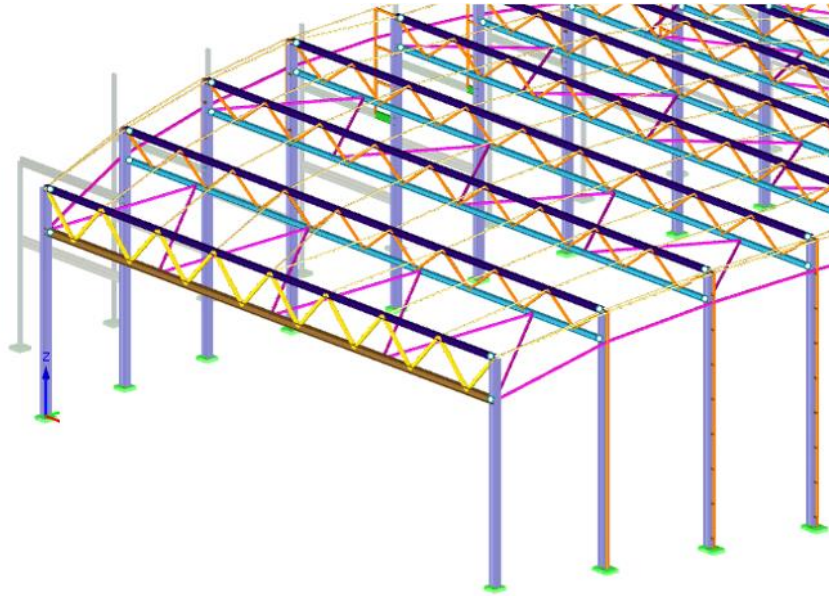


Figura 3. Vista de los pórticos principales diferenciando por colores el tipo de sección.

Además, las barras de sección QRO 100x5 son utilizadas como pilares auxiliares que complementan a los pilares principales en determinados pórticos formando un pilar compuesto. Los dos pilares (el principal y el auxiliar) están unidos por una serie de montantes que también son de sección QRO 100x5. Las uniones entre los dos cordones y los montantes son rígidas.

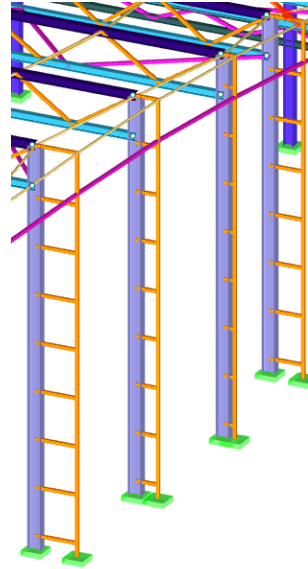


Figura 4. Vista de los pilares auxiliares en color naranja.

El último pórtico es diferente a todos los demás, debido a que no dispone de cercha superior, sino que ésta se encuentra a mitad de altura de los pilares, ya que sirve como cercha para soportar el techo de la cafetería del polideportivo, el cual, se detallará de manera más concreta posteriormente.

La sección de ambos cordones de esta cercha única es un perfil HEB 180, mientras que las diagonales son QRO 100x4 (conformadas en caliente). Los pilares están formados por barras de sección HEB 300 unidos en sus cabezas por un dintel cuya sección es de HEB 220.

- 3: HEB 300; Acero S 275 JR
- 5: HEB 220; Acero S 275 JR
- 8: QRO 100x4 (conformadas en caliente); Acero S 275 JR
- 9: HEB 180; Acero S 275 JR

Leyenda tipo de sección de la Figura 5.

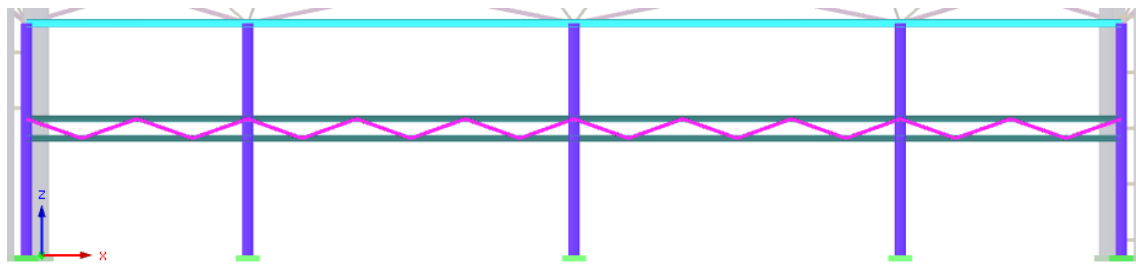


Figura 5. Vista del último pórtico diferenciando el tipo de sección por colores.

Asimismo, la fachada posterior del polideportivo tiene direztriz curva y se une al primer portico con un forjado para el techo de barras IPE 360. Como se muestra en la figura 6, los pilares de cierre de la fachada se unen entre sí con dos hileras de barras QRO 140x4 en su parte inferior, excepto en el último paño de la izquierda, y otra hilera de barras iguales que hace las veces de dintel, salvo en el último paño de la derecha y el segundo por la izquierda. Además, los pilares segundo y tercero desde la derecha, los une una barra intermedia IPE 270 que sirve de apoyo para el techo de la planta baja y el forjado de la primera.

Los pilares de cierre tienen distintas secciones, como se muestra en la figura 6. Los que se encuentran alineados con los pilares de los pórticos principales tienen su misma sección: un perfil HEB 400, mientras que los demás son de sección HEB 180, salvo el segundo por la izquierda, que es un perfil HEB 200 y el de esquina y el tercero por la derecha, que son HEB 160. Por último, todas las barras en la direztriz curva de esta pared, independientemente de sus secciones están aticuladas en sus extremos.

- 1: HEB 400; Acero S 275 JR
- 8: QRO 100x4 (conformadas en caliente); Acero S 275 JR
- 9: HEB 180; Acero S 275 JR
- 11: HEB 160; Acero S 275 JR
- 13: IPE 270; Acero S 275 JR
- 14: IPE 400; Acero S 275 JR
- 16: IPE 300; Acero S 275 JR
- 18: IPE 360; Acero S 275 JR
- 25: HEB 200; Acero S 275 JR
- 28: IPE 200; Acero S 275 JR

Leyenda tipo de sección de la Figura 6.

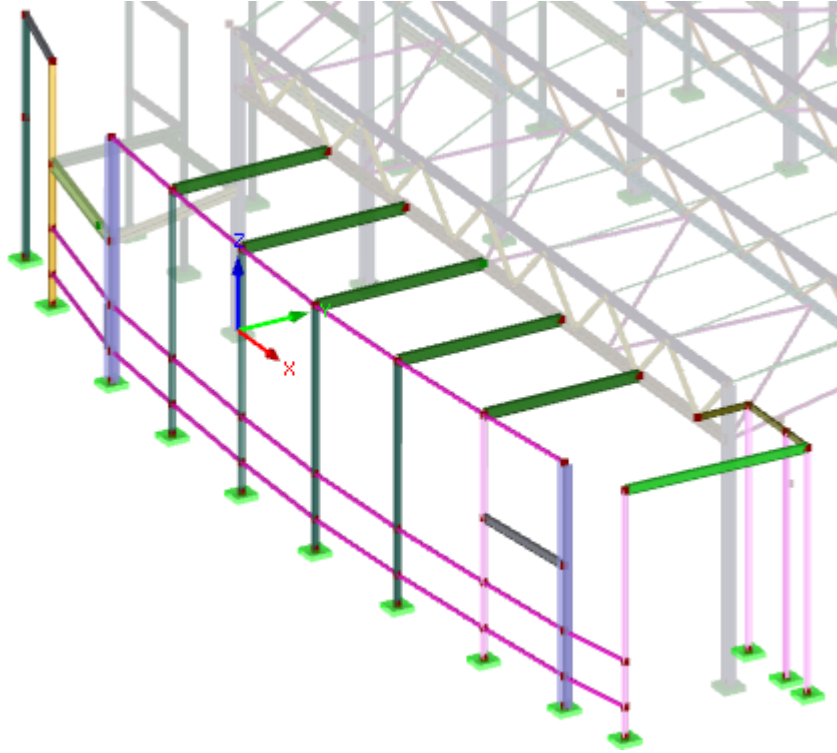


Figura 6. Vista de fachada posterior, correspondiente a la zona de vestuarios.

El techo de la cafetería del polideportivo se sitúa en la parte delantera y consta de un forjado formado por vigas de sección HEB 120 apoyadas en pilares de diferentes perfiles. Como podemos ver en la Figura 7 los tres primeros pilares de la parte de la izquierda, y por tanto de la pared trasera del polideportivo, son de perfil HEB 120, después el resto de los pilares que forman dicha pared son de sección QRO 140x4 (conformados en caliente) debido a que corresponden a la cristalera de la cafetería. También en el lateral derecho de la imagen vemos pilares de perfil HEB 120. Por último, el forjado de la cafetería se compone de las vigas del lateral derecho de la Figura 7 del penúltimo y antepenúltimo que son de sección HEB 140 y HEB 160. Todas las vigas que conforman el forjado del techo de la cafetería están articuladas en sus uniones.

- 1: HEB 400; Acero S 275 JR
- 2: QRO 140x5 (conformadas en caliente); Acero S 275 JR
- 3: HEB 300; Acero S 275 JR
- 8: QRO 100x4 (conformadas en caliente); Acero S 275 JR
- 9: HEB 180; Acero S 275 JR
- 10: HEB 140; Acero S 275 JR
- 11: HEB 160; Acero S 275 JR
- 15: HEB 120; Acero S 275 JR
- 32: RO 168.3x6 (conformadas en frío); Acero S 275 JR

Leyenda tipo de sección de la Figura 7.

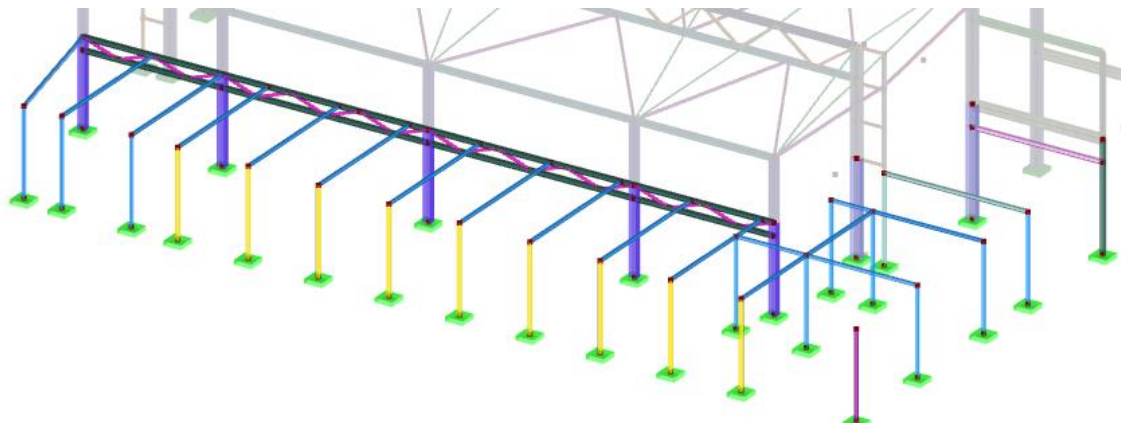


Figura 7. Vista del forjado de la cafetería diferenciando el tipo de sección por colores.

Al mismo tiempo, la estructura se completa en su lateral derecho, donde se encuentra el gimnasio, con pilares complementarios de sección HEB 160, que se unen a los de los pórticos principales por medio de vigas que sostienen el forjado del corredor de acceso a la parte superior del graderío y el de la cubierta donde se ubican algunas de las instalaciones del edificio. Las vigas del forjado superior son de perfiles IPE 300 y las del inferior IPE 400, salvo del segundo pórtico que el forjado superior se forma con una barra IPE 360.

En los dos últimos pórticos (en el lado de la cafetería) la disposición de estos pilares complementarios es diferente.

En el último, el pilar es un HEB 120 de menor altura que los demás, que soporta una viga de sección HEB 140. El otro extremo de esta viga termina en un pilar auxiliar de la misma sección, que se une a su vez al pilar principal del pórtico por cuatro travesaños de sección QRO 100x5.

En el siguiente pórtico, además de los elementos que sirven para soportar los forjados del corredor de acceso a la gradería y la terraza, hay una tercera viga, biarticulada y de sección HEB 160, que junto con la HEB 140 del último soportan el techo de la cafetería.

- 1: HEB 400; Acero S 275 JR
- 6: QRO 100x5 (conformadas en caliente); Acero S 275 JR
- 10: HEB 140; Acero S 275 JR
- 11: HEB 160; Acero S 275 JR
- 14: IPE 400; Acero S 275 JR
- 15: HEB 120; Acero S 275 JR
- 16: IPE 300; Acero S 275 JR
- 18: IPE 360; Acero S 275 JR

Leyenda tipo de sección de la Figura 8.

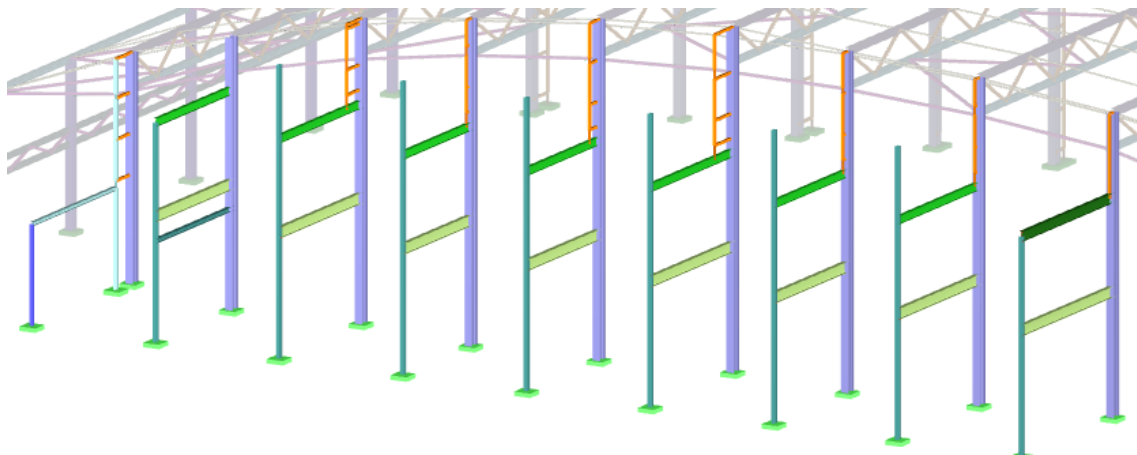


Figura 8. Vista de los pilares complementarios con los forjados superior e inferior.

Por último, cabe destacar el empotramiento de todos los pilares con el suelo y, además, que el modelo está dotado de un arriostramiento de cubierta con barras QRO 100x4 (conformadas en caliente) con uniones articuladas en sus extremos unidos a los cordones inferiores de las cerchas. Además, nuestro cerramiento es un panel autoportante uniendo cerchas consecutivas y se trata de un panel de cubierta con chapa ondulada de perfil omega que en su interior tiene perfiles separadores y material impermeable y aislante. Para simular el cerramiento de la cubierta, al no disponer de elementos de modelado similares hemos optado por introducir el peso propio de un panel similar y barras KH50/50/15x3, es decir de sección omega, para darle una rigidez semejante.

- 8: QRO 100x4 (conformadas en caliente); Acero S 275 JR
- 20: KH 50/50/15x3; Acero S 275 JR

Leyenda tipo de sección de la Figura 9 y Figura 10.

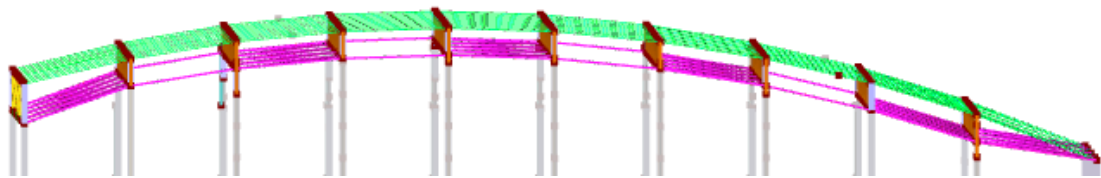


Figura 9. Vista lateral del arriostramiento y del cerramiento de la cubierta.

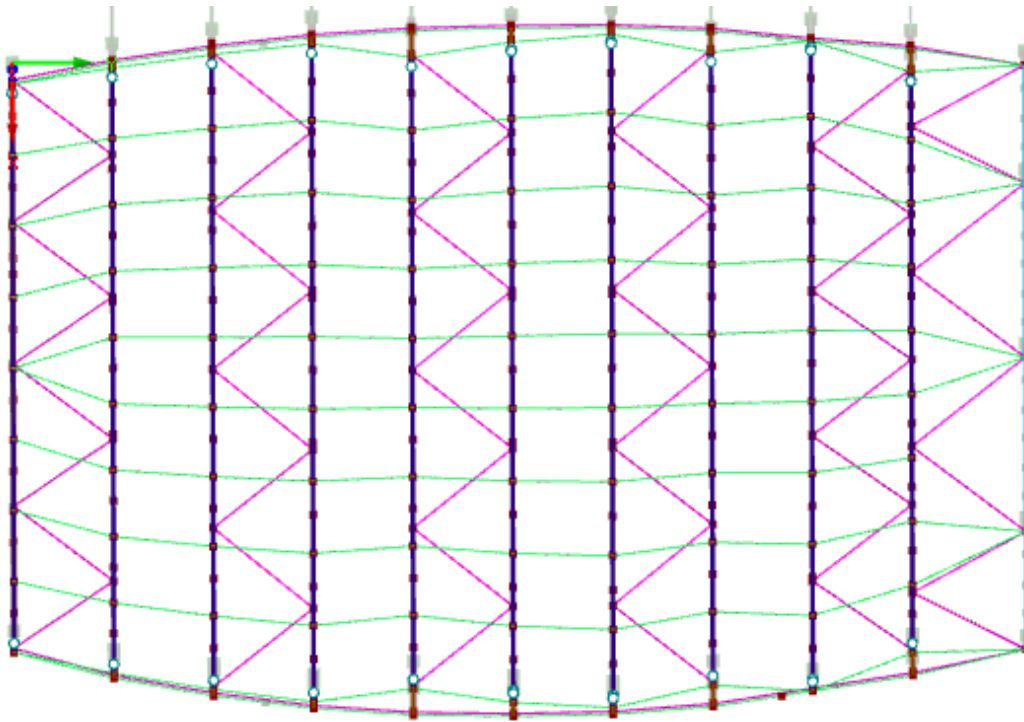


Figura 10. Vista en planta del arriostramiento y de los elementos empleados para simular el cerramiento de la cubierta.

2.2 NORMATIVA EMPLEADA

Para determinar las cargas que debe soportar una estructura en función de su finalidad y ubicación, entre otros aspectos, se debe aplicar la normativa vigente.

En este trabajo se han tenido en cuenta tanto el Código Técnico de la Edificación, en adelante CTE, que es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad en España, como el Eurocódigo 1 (UNE-EN_1991-1-4), en adelante EC1, acciones generales en estructuras, acciones de viento y el Eurocódigo 3, en adelante EC3, conjunto de normas europeas que recoge las reglas y principios para el cálculo de estructuras de acero.

Concretamente los documentos básicos que vamos a tener en cuenta son relacionados con la Seguridad Estructural, es decir, CTE-DB-SE y CTE-DB-SE-AE (Acciones en la Edificación).

2.3 CARGAS CONSIDERADAS

Con respecto a las **cargas consideradas** en nuestro modelo, son tenidas en cuenta respecto a los documentos anteriormente citados, por lo tanto, serán las siguientes:

– Carga Permanente:

Hemos contemplado el peso propio de las todas las barras de la estructura de nuestra cubierta, así como el peso correspondiente al cerramiento de cubierta que en nuestro caso se trata de 8,6 kp/m², es decir, 0,086 kN/m².

– Carga de Nieve:

En nuestro caso, conforme los puntos 3.5.2 y 3.5.3 del CTE-DB-SE-AE, tenemos un valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal s_k de 0,5055 kN/m², propio de los 211 m de altitud del municipio, y un coeficiente de forma μ de valor 1 porque nuestra cubierta es de inclinación menor o igual que 30°. Por lo tanto, el valor de esta carga es $q_n = \mu \cdot S_k = 0,5055$ kN/m².

– Sobrecarga de Uso:

De acuerdo con la Tabla 3.1 “Valores característicos de las sobrecargas de uso” del documento CTE-DB-SE-AE nuestra categoría de uso es G1 y por tanto la carga uniforme es 0,4 kN/m², además debido al ser de menor valor que la carga de nieve y no concomitante con ella, podemos no considerarla en nuestro cálculo.

– Carga de Viento:

En primer lugar, consideraremos la carga de viento en **dirección +X**, es decir, en la dirección longitudinal del polideportivo, se calculará de forma que explicamos a continuación, por lo que en la Figura 9 se muestra claramente la dirección considerada.

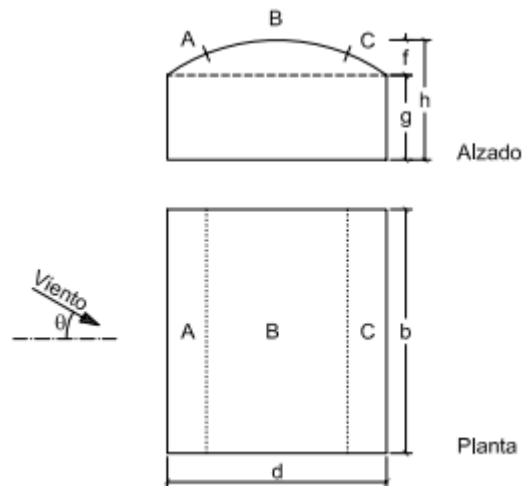


Figura 11. Vistas de la dirección +X del viento respecto a nuestra cubierta cilíndrica correspondiente a la tabla D.12 del DBSE-AE.

Con arreglo al punto 3.3.2 y la Tabla 3.4 “Valores del coeficiente de exposición c_e ” del CTE-DB-SE-AE, teniendo en cuenta el grado de aspereza III y cogiendo el valor en función de la altura del punto considerado por el lado de la seguridad c_e es igual a **2,6**.

También, conforme al Anejo D y según el mapa de la Figura D.1 obtenemos la presión dinámica $q_b = 0,45 \text{ kN/m}^2$ al encontrarse el edificio dentro de la zona de viento B.

Igualmente, tal como se puede ver y calcular en la Tabla D.12 “Cubiertas cilíndricas” la cubierta se divide en tres superficies diferenciadas y, por tanto, en tres coeficientes de presión o succión, que en nuestro caso serán de succión ($c_{sA} = -0,136$: zona A, $c_{sB} = -0,82$: zona B y $c_{sC} = -0,4$: zona C), por lo que solo tendremos en cuenta el caso de carga de viento de todo succión, es decir, la acción de viento o presión estática de nuestra cubierta $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_s$ queda $q_{eA} = -0,16 \text{ kN/m}^2$ en la zona A, $q_{eB} = -0,96 \text{ kN/m}^2$ en la zona B y $q_{eC} = -0,47 \text{ kN/m}^2$ en la zona C.

Por último, hemos considerado la carga de viento que actúa sobre las fachadas según la Tabla D.3 “Paramentos verticales”, es decir, vamos a obtener cinco coeficientes distintos según las zonas (zona A, zona B, zona C, zona D, zona E) mostradas en dicha tabla partiendo de que la fachada por la que incide el viento es la zona D. Por lo tanto, los coeficientes quedan de esta manera: $c_{eA} = -1,2$: zona A, $c_{eB} = -0,8$: zona B, $c_{eC} = -0,5$: zona C, $c_{sD} = 0,7$: zona D y $c_{sE} = -0,3$: zona E. En consecuencia, la acción de viento quedará $q_{eA} = -1,404 \text{ kN/m}^2$ en la zona A, $q_{eB} = -0,936 \text{ kN/m}^2$ en la zona B, $q_{eC} = -0,585 \text{ kN/m}^2$ en la zona C, $q_{eD} = 0,819 \text{ kN/m}^2$ en la zona D y $q_{eE} = -0,351 \text{ kN/m}^2$ en la zona E.

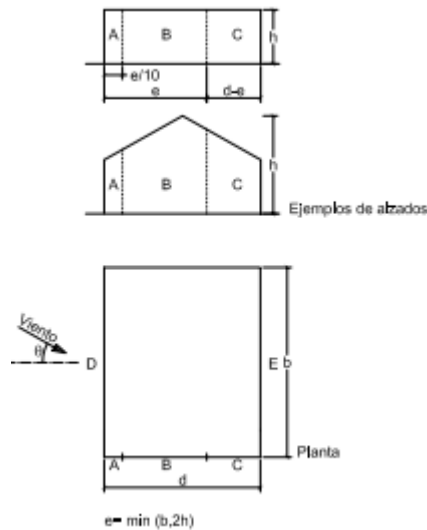


Figura 12. Vistas diferenciando zonas correspondiente a la tabla D.3 del DBSE-AE.

Además, por lo que se muestra en la tabla citada anteriormente la cubierta la dividimos en cuatro secciones diferentes, por lo tanto, en cuatro coeficientes distintos, es decir, se nos quedan $c_{sF} = c_{sH} = -1,3$: zona F y zona H, $c_{sG} = -0,6$: zona G y $c_{sI} = -0,5$: zona I. Al ser los coeficientes todos con signo negativo, consideramos solo el caso de carga de succión completa, es decir, el efecto del viento o la presión estática de la cubierta es el siguiente: $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_s$, por lo que queda con $c_e = 2,6$ y $q_b = 0,45 \text{ kN/m}^2$, es decir, como en la dirección del viento anteriormente nombrada, $q_{eF} = q_{eH} = -1,521 \text{ kN/m}^2$ en la zona F y zona H, $q_{eG} = -0,702 \text{ kN/m}^2$ en la zona G y $q_{eI} = -0,585 \text{ kN/m}^2$ en la zona I.

Por último, de la misma manera que en la dirección longitudinal del polideportivo, en la dirección transversal hemos considerado la carga de viento que actúa sobre las fachadas según la Tabla D.3 “Paramentos verticales”. Por lo tanto, también quedan cinco zonas diferenciadas y así pues tenemos cinco coeficientes que quedan de esta manera: $c_{eA} = -1,2$: zona A, $c_{eB} = -0,8$: zona B, $c_{eC} = -0,5$: zona C, $c_{sD} = 0,8$: zona D y $c_{sE} = -0,5$: zona E. Por consiguiente, la acción de viento quedará $q_{eA} = -1,404 \text{ kN/m}^2$ en la zona A, $q_{eB} = -0,936 \text{ kN/m}^2$ en la zona B, $q_{eC} = -0,585 \text{ kN/m}^2$ en la zona C, $q_{eD} = 0,936 \text{ kN/m}^2$ en la zona D y $q_{eE} = -0,585 \text{ kN/m}^2$ en la zona E.

Asimismo, después de obtener las cargas correspondientes, el programa RFEM realiza las combinaciones de las acciones de carga permanente, nieve y viento en las dos direcciones que hemos definido, de todas las formas posibles, considerando cada acción variable como acción dominante y la posibilidad de que sean, tanto favorables, como desfavorables.

A partir de esas combinaciones, establece las envolventes para Estado Límite Último y Estado Límite de Servicio, tanto para situaciones características, como para frecuentes y casi permanentes.

Una vez que hemos comprobado que cumplen estas cuatro combinaciones de acciones realizaremos un análisis más detallado.

3 ANÁLISIS ESTÁTICO

Después de introducir correctamente las cargas consideradas por la normativa, realizaremos el cálculo en nuestro modelo que antes hemos comentado para posteriormente analizar los casos de carga y sus combinaciones.

El objetivo principal del análisis estático de una estructura es la evaluación de un estado de estrés de una estructura sometida a fuerzas constante en el tiempo, es decir, estáticas.

3.1 ANÁLISIS DE DESPLAZAMIENTOS

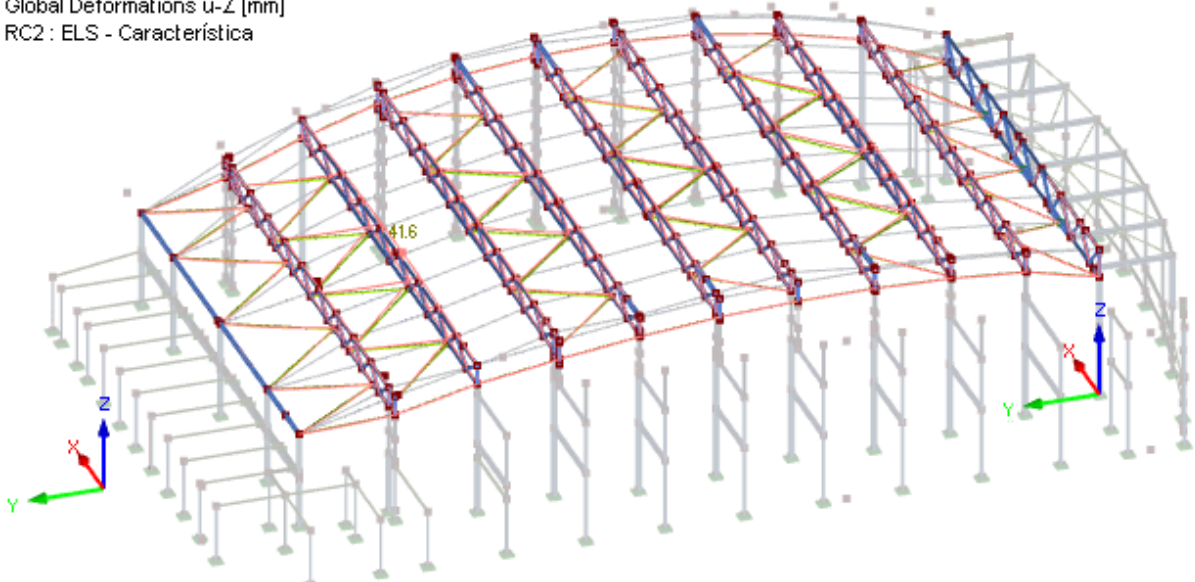
En primer lugar, analizaremos los desplazamientos que se presentan en la cubierta del polideportivo en la comprobación de Estado Límite de Servicio en su combinación característica, es decir, para la situación que, si se sobrepasa, produce una pérdida de funcionalidad o deterioro en la estructura que pueden resultar irreversibles en los elementos, pero no un riesgo previsto a corto plazo .

Atendiendo a los resultados de los desplazamientos en el eje vertical se muestra como en los primeros pórticos sufren unas flechas más grandes y conforme nos movemos en la cubierta longitudinalmente vemos como las flechas de las cerchas disminuyen, es decir, en los pórticos primero y ultimo las flechas son muy pequeñas. Por tanto, el desplazamiento máximo en esta dirección es de 41,6 mm y se encuentra en el tercer pórtico desde la parte delantera del polideportivo, es decir desde la izquierda de la Figura 15.

La comprobación perteneciente al CTE, concretamente al documento básico CTE-DB SE (Seguridad Estructural), que debemos considerar para la integridad de los elementos constructivos es la cual se admite que la estructura de la cubierta es suficientemente rígida si la flecha relativa es menor que $1/500$, es decir, la flecha máxima de nuestra cubierta tendrá que ser menor que la Luz del pórtico en el que se encuentra entre 500.

Teniendo en cuenta que $Luz = 32,74 \text{ m} = 32740 \text{ mm}$ nos queda la siguiente comprobación: $flecha \leq \frac{luz}{500} = \frac{32740}{500} = 65,48 \text{ mm}$. Por lo que al contar con una $flecha = 41,6 \text{ mm}$ se cumple la restricción.

Visibility mode - cubierta
Global Deformations u-Z [mm]
RC2: ELS - Característica



Max u-Z: 41.6, Min u-Z: -5.7 mm

Figura 14. Vista general de la cubierta con los desplazamientos en la dirección del eje vertical.

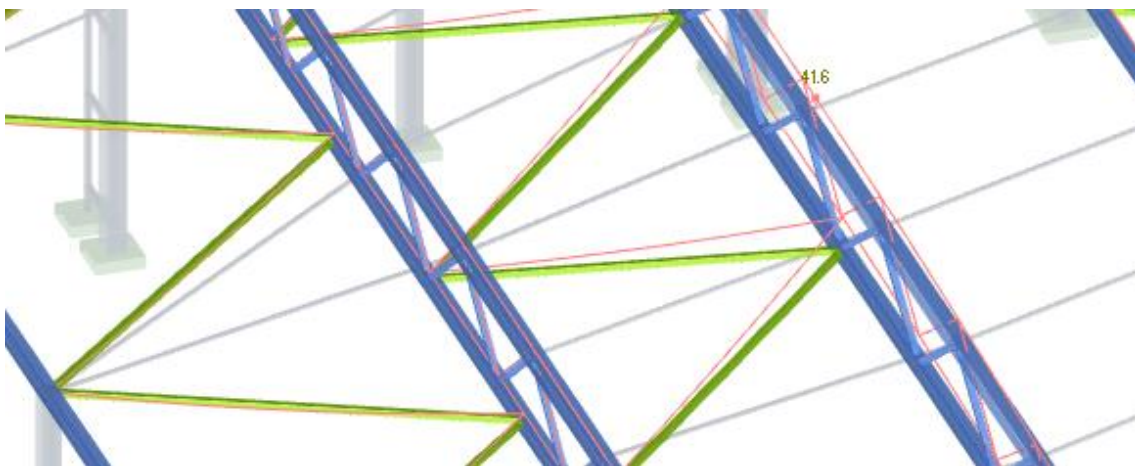


Figura 14.1. Vista ampliada del desplazamiento máximo en la dirección del eje vertical.

Por otra parte, es relevante mostrar, como se aprecia en la Figura 15, los desplomes o desplazamientos horizontales de los pilares principales de la estructura. Podemos observar que todos los pilares por completo sufren dichos desplomes pero el desplazamiento máximo se produce en el último pilar de la parte posterior de la cubierta y se trata de un valor de 49,6 mm.

En estos desplazamientos, la comprobación del CTE que nos hemos asegurado que cumpliera nuestra estructura será la que se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si el desplome relativo es menor que 1/250. A pesar de no tener todos los elementos constructivos del polideportivo que aportan rigidez a la estructura, como puede ser el graderío, el desplome máximo de nuestros pilares principales tendrá que ser menor que la altura del edificio entre 250.

A consecuencia de que $Altura = 12,6\text{ m} = 12600\text{ mm}$ nos queda la siguiente comprobación: $desplome \leq \frac{Altura}{250} = \frac{12600}{250} = 50,4\text{ mm}$. Por este motivo, al disponer de un $desplome = 46,9\text{ mm}$ se cumple la restricción.

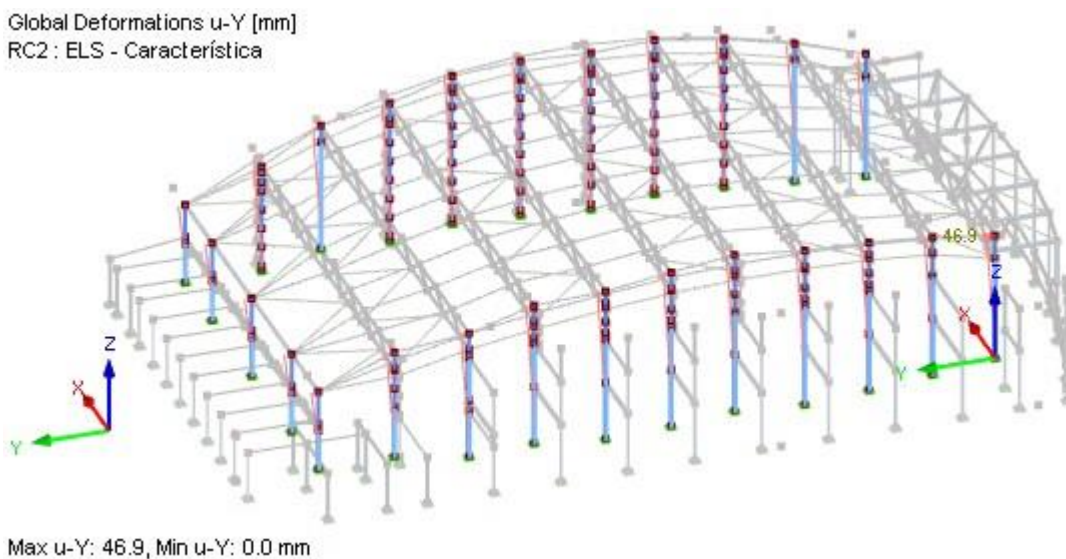


Figura 14. Vista general de los desplomes de los pilares principales.

3.2 ANÁLISIS DE TENSIONES

A continuación, realizaremos un análisis mediante el programa RFEM de la comprobación del Eurocódigo 3. RFEM realiza todas las combinaciones para la comprobación de Estado Límite de Último según el EC3 con la normativa nacional española, que no son exactamente las mismas restricciones del CTE, pero son semejantes y análogas a las dispuestas en el CTE, aunque pueden llegar a ser más restrictivas.

Los resultados a mostrar son el grado de aprovechamiento de los elementos de la cubierta en función de las normativas mencionadas.

En primer lugar, podemos mostrar el grado de aprovechamiento de todas las barras de las cerchas que soportan la cubierta del polideportivo, donde en la Figura 15 se puede ver que ninguna sobrepasa el valor de 1 y, por tanto, cumplen con las normativas anteriormente comentadas.

Podemos destacar que el valor máximo que encontramos es de 0,75 y se sitúa en la esquina inferior derecha de la Figura 15 y por tanto en el tercer pódico empezando por la derecha de esta.

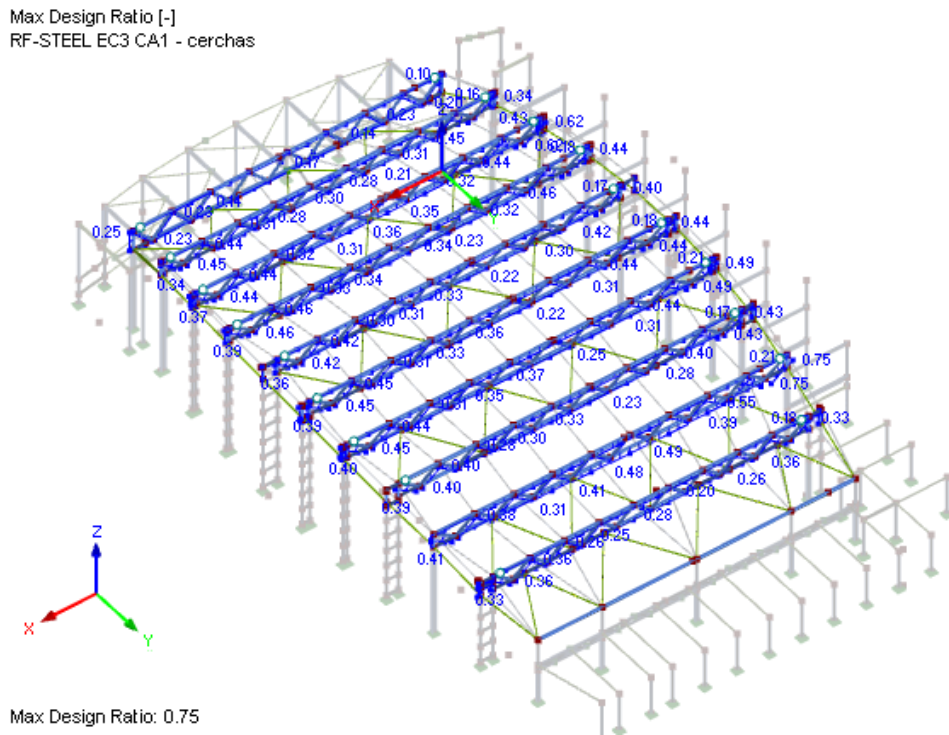


Figura 15. Vista general valores de aprovechamiento de las barras de las cerchas.

Después, analizamos y exponemos el grado de aprovechamiento de todas las barras que conforman el arriostramiento de la cubierta del polideportivo. Al no sobrepasar el valor de 1 en ninguna de las barras de la Figura 16 se puede ver, por tanto, que cumplen con las normativas anteriores del EC3 y CTE.

Se puede enfatizar que el valor máximo que encontramos es 0,57 y se ubica en la esquina inferior izquierda de la Figura 16 y por lo tanto en vano entre los dos primeros pórticos principales comenzando desde parte delantera del polideportivo.

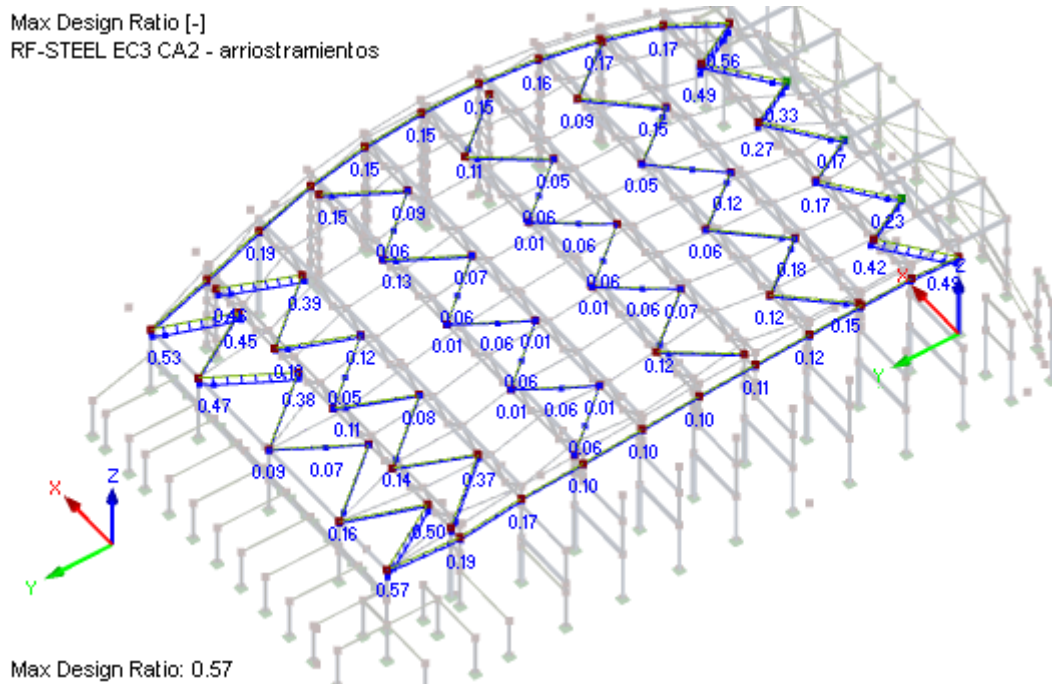


Figura 16. Vista general valores de aprovechamiento de las barras del arriostramiento de cubierta.

A continuación, debemos comentar y presentar los grados de aprovechamiento de los pilares principales de la estructura que soportan la cubierta. Como se muestra en la Figura 17 obtenemos que todos ellos cumplen la normativa teniendo su valor máximo en el pilar izquierdo del primer pórtico según la vista de alzado de la parte delantera del polideportivo, así pues se trata de un valor de 0,39 registrándose todos los restantes por debajo de este valor.

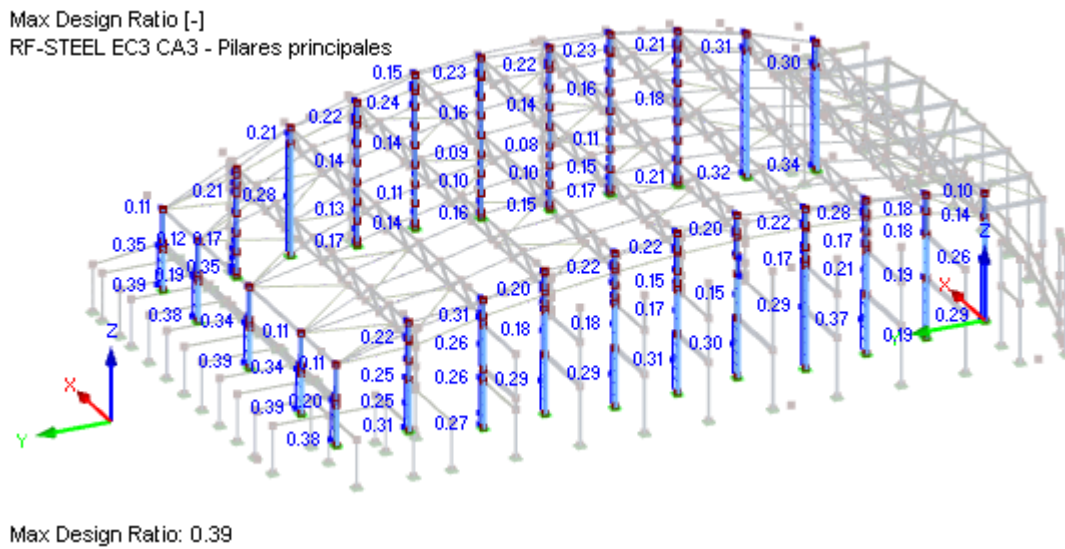


Figura 17. Vista general de los valores de aprovechamiento de los pilares principales.

Finalmente, es necesario indicar y presentar el grado de aprovechamiento de tanto los pilares como del arriostramiento de la parte frontal de la estructura del polideportivo. Como se presenta en la Figura 18, vemos que todos los elementos o barras cumplen y son conformes con la normativa. Nos encontramos que el segundo pilar por la derecha de la fachada de frente del polideportivo, es decir, empezando a contar desde el pilar con sección HEB 400, tiene el valor más alto que es 0,59.

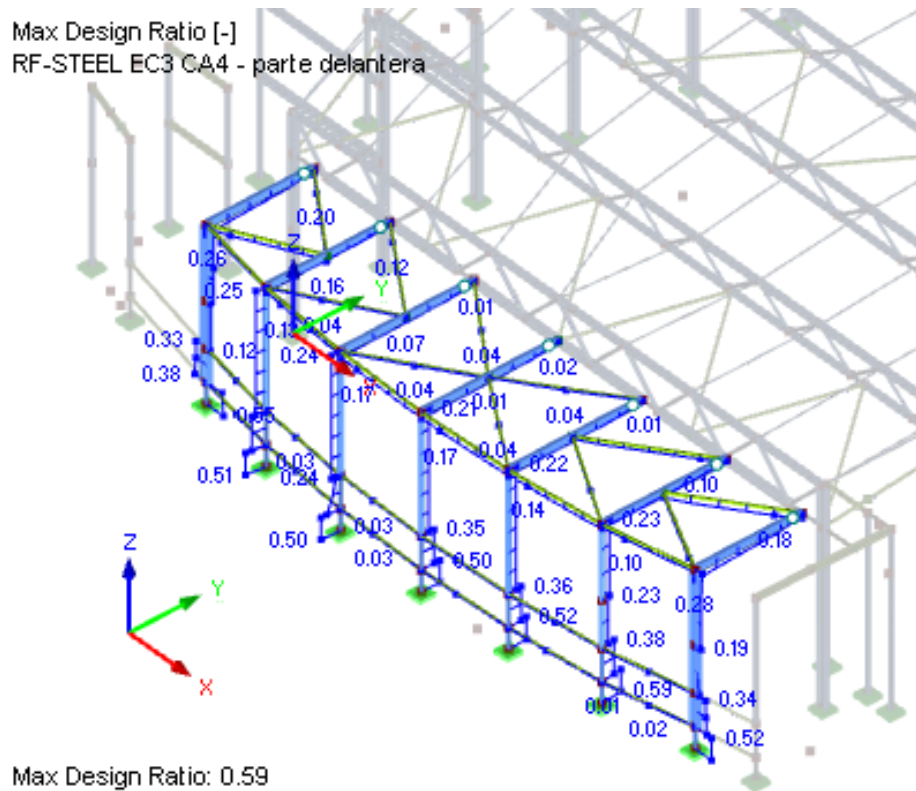


Figura 18. Vista general de los valores de aprovechamiento de arriostrado y pilares delanteros.

Los resultados se expresan y se muestran de forma más concreta y extensa en dos anexos adjuntos seguidamente de esta memoria.

El primero de ellos (Anexo A) se trata de varias tablas que exponen los resultados de las barras según los casos de las diferenciadas partes que hemos analizado anteriormente, de forma más clara y detallada destacando los valores máximos.

El segundo (Anexo B) consiste en un informe detallado por RFEM que nos indican tanto los detalles de las secciones utilizadas en el modelo, como las cargas y sus combinaciones según el CTE además los métodos y los análisis realizados de manera más extensa. En definitiva, todo el trabajo realizado por el programa con respecto a las normativas vigentes.